

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10-41549

(43) 公開日 平成10年(1998)2月13日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H01L 33/00			H01L 33/00	C
H01S 3/18			H01S 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数 19 OL

(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-104804

(22) 出願日 平成9年(1997)4月22日

(31) 優先権主張番号 特願平8-99891

(32) 優先日 平8(1996)4月22日

(33) 優先権主張国 日本(JP)

(71) 出願人 000221339

東芝電子エンジニアリング株式会社

神奈川県川崎市川崎区日進町7番地1

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 古 川 千 里

神奈川県川崎市川崎区日進町7番地1 東芝

電子エンジニアリング株式会社内

(72) 発明者 石 川 正 行

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会

社東芝川崎事業所内

(74) 代理人 弁理士・佐藤 一雄 (外3名)

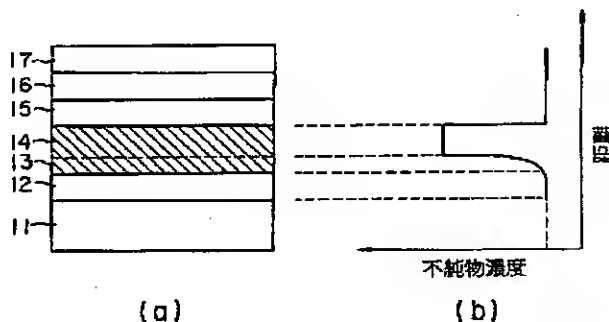
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子及びその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 従来の窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体デバイスで、活性層下の高濃度N型層の結晶性を向上させるために、アンドープの単結晶Ga<sub>0.5</sub>N層を形成することによるスループットの低下、および成長層の劣化を解消する。

【解決手段】 発光素子は、基板11上に形成されたN型の窒化ガリウム系化合物半導体層12～14と、このN型の窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成されたP型の窒化ガリウム系化合物半導体層16とを有し、N型の窒化ガリウム系化合物半導体層は、不純物濃度が膜厚に応じて基板側から増加する領域13を有する。また、その製造方法は、反応室内にて、基板上に第一窒化ガリウム系化合物半導体層12を形成する工程と、第一窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に前記ドーピングガスとしてシランを導入し、N型不純物がドーピングされた第二N型窒化ガリウム系化合物半導体層13を反応室内に導入するシランの流入量を変化させることにより、その不純物濃度を基板側から増加させて形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上に形成された N 型の窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記 N 型の窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された P 型の窒化ガリウム系化合物半導体層とを有する発光素子において、

前記 N 型の窒化ガリウム系化合物半導体層は、不純物濃度が膜厚に応じて前記基板側から増加する領域を有することを特徴とする発光素子。

【請求項 2】基板と、

第一の N 型不純物の不純物濃度から第二の N 型不純物の不純物濃度まで増加して前記基板上に形成された第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、

前記第二の N 型不純物の不純物濃度を有し前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された第二 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、

前記第二 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された P 型窒化ガリウム系半導体層と、  
を有することを特徴とする発光素子。

【請求項 3】前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、N 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じて指数関数的に変化していることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子。

【請求項 4】前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、N 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じて直線的に変化していることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子。

【請求項 5】前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、N 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じて飽和曲線的に変化していることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子。

【請求項 6】前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、N 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じてステップ状に変化していることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子。

【請求項 7】前記第一及び第二の N 型不純物の不純物濃度は、 $1 \times 10^{13} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$  乃至  $1 \times 10^{23} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$  の範囲内にあることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子。

【請求項 8】前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層の膜厚は、0.01 乃至 2.00  $\mu\text{m}$  の範囲内であることを特徴とする請求項 2 記載の発光素子。

【請求項 9】基板と、

前記基板表面上に形成され第一の不純物濃度を有する第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、

前記第一 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に形成され、膜厚に応じて前記第一の不純物濃度から第二の不純物濃度まで増加する第二 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、

前記第二 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に形成され、前記第二の不純物濃度を有する第三 N 型窒化ガ

リウム系化合物半導体層と、

前記第三 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された P 型窒化ガリウム系化合物半導体層とを有することを特徴とする発光素子。

【請求項 10】基板と、

この基板上にエピタキシャル成長により形成され、前記基板側から不純物濃度が増加して形成された第一成長層と、

前記第一成長層上にエピタキシャル成長により形成され、異種ヘテロ接合を有する第二成長層とを有することを特徴とする発光素子。

【請求項 11】基板上に形成された P 型窒化ガリウム系化合物半導体層を少なくとも一層有する発光素子において、前記 P 型の窒化ガリウム系化合物半導体層は、不純物濃度が膜厚に応じて前記基板から増加する領域を有することを特徴とする発光素子。

【請求項 12】基板と、第一の P 型不純物濃度から第二の P 型不純物濃度まで増加して前記第二の P 型不純物濃度まで増加して前記基板上に形成された第一の P 型窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記第二の P 型不純物の不純物濃度を有し前記第一 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された第二 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層とを有することを特徴とする発光素子。

【請求項 13】前記第一 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、P 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じて直線的に変化していることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 14】前記第一 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、P 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じて指数関数的に変化していることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 15】前記第一 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、P 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じて飽和曲線的に変化していることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 16】前記第一 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層は、P 型不純物の不純物濃度が膜厚に応じてステップ状に変化していることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 17】前記第一及び第二の P 型不純物濃度は、 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{23}$  の範囲内にあることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 18】前記第一 P 型窒化ガリウム系化合物半導体層の膜厚は、0.01 乃至 2.00  $\mu\text{m}$  の範囲であることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 19】反応室内にて、基板上に第一窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する工程と、前記第一窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に前記ドーピングガスとしてシランを導入し、N 型不純物がドーピングされた第二 N 型窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する工程とを有

する発光素子の製造方法において、前記反応室内に導入するシランの流入量を変化させることにより、前記第二のN型窒化ガリウム系化合物半導体層の不純物濃度を前記基板側から増加させて形成することを特徴とする発光素子の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は発光素子及びその製造方法、特に発光ダイオード、半導体レーザ等の発光素子の構造とその製造方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】従来より発光素子の実用的な材料としては、窒化ガリウム (GaN)、窒化インジウムガリウム (InGa<sub>N</sub>)、窒化ガリウムアルミニウム (GaAlN) 等の窒化ガリウム系化合物半導体が知られている。

【0003】これらの材料を用いて製造された発光デバイスの一例として以下、図7および8を用いて従来の発光ダイオードの構造及びその製造方法、問題点について説明する。

【0004】図7(a)はエピタキシャル成長によって複数の成長層を形成した異種ヘテロ接合を有する発光ダイオードの断面図である。また図7(b)は図7(a)に示した発光ダイオードにおけるN型不純物のプロファイルを示しており、その横軸はN型不純物の不純物濃度を示し、その縦軸は図7(a)に対応し、基板の下面からの距離を示している。

【0005】図7(a)に示すように従来の発光ダイオードは、サファイア、SiC等よりなる基板111表面上に、非結晶のGaNよりなるバッファ層112(第一GaN層)、単結晶のGaNよりなるスペーサ層113(第二GaN層)、高濃度にN型不純物がドーブされた高濃度N型層114(第三GaN層)、InGa<sub>N</sub>よりなる活性層115(InGa<sub>N</sub>層)、P型不純物がドーブされたAlGa<sub>N</sub>層116、高濃度にP型不純物がドーブされたGaNよりなるコンタクト層(第四GaN層)117の各成長層が積層に構成されている。

【0006】N型不純物の不純物濃度は、第三GaN層においては、 $1 \sim 5 \times 10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度であり、その他の層においてはN型不純物の不純物濃度はバックグラウンドレベルである  $1 \times 10^{16} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度である。またこれらの各成長層は、導入する気体の種類及び温度を変化させることによりMO-CVD (Metal Organic-Chemical Vapour Deposition) 法等の気相成長法により形成されている。上記の構成において第三GaN層114は、摂氏1000~1100度程度の反応室内にて、キャリアガスとして水素、原料ガスとしてアンモニア (NH<sub>3</sub>) 及びTMGa (トリメチルガリウム) を導入することにより第二GaN層113を形成した後、これに連続して上記のガスを導入したままSiH<sub>4</sub> (シランガス) をさらに供給することにより、N型不純物を

高濃度にドーブして形成する。尚、第二GaN層の膜厚は0.01μm以上、第三GaN層の膜厚は0.1μmで形成するのが望ましい。

【0007】ところで第二GaN層113は本来、機能的に必要な層ではない。すなわち機能的にはバッファ層として形成する第一GaN層上に、N型不純物が高濃度にドーブされた第三GaN層が形成されていれば、発光素子として所望の動作を果たす。しかしながら非結晶で形成されるGaN層表面上に、高濃度の単結晶GaN層を形成しようとする場合には、例えば図4(a)、

(b)に示すように、第一GaN層112表面上には、ピンホール211が生じたり、ドーパントを核としたGaN層の異常成長212が生じる場合がある。従って従来の発光ダイオードにおいては、第一GaN層112表面上には単結晶の第二GaN層113をスペーサ層として形成し、続いてN型不純物が高濃度にドーブされた第四GaN層114を形成している。

##### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記のように従来の窒化ガリウム系化合物半導体を用いた半導体デバイスでは、発光層として機能する活性層下の高濃度N型層を形成する際には、その結晶性を向上させるために、予めその下面にスペーサ層としてアンドープの単結晶GaN層を形成している。これらの各成長層の形成にはMO-CVD法等の気相成長法が用いられるが、成長速度が遅く、本来、機能的に必要な無い層を形成するために、スループットが低下することとなる。また機能的に必要な無い層を形成することにより、発光素子の全体の膜厚も増加することになる。膜厚が厚くなると、格子不接合によって、各成長層の歪量が増加することにもなり、機能的に必要な成長層の劣化を招くことにもなる。

【0009】従って本発明は上記のような問題点を踏まえ、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた発光デバイスを製造する際のスループットの向上と品質を向上させるための新規な製造とその製造方法を提供することを目的とする。

##### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明にかかる発光素子によれば、基板上に形成されたN型の窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記N型の窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成されたP型の窒化ガリウム系化合物半導体層とを有し、前記N型の窒化ガリウム系化合物半導体層は、不純物濃度が膜厚に応じて前記基板側から増加する領域を有することを特徴とする。

【0011】また、本発明にかかる発光素子によれば、基板と、第一のN型不純物の不純物濃度から第二のN型不純物の不純物濃度まで増加して前記基板上に形成された第一N型窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記第二のN型不純物の不純物濃度を有し前記第一N型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された第二N型窒化ガリ

ウム系化合物半導体層と、前記第二N型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成されたP型窒化ガリウム系半導体層とを有する。

【0012】第一N型窒化ガリウム系化合物半導体層のN型不純物の不純物濃度の変化は膜厚に応じて指数関数的、直線的、飽和曲線的、ステップ状のいずれかの態様で変化することが好ましい。

【0013】第一及び第二のN型不純物の不純物濃度は、 $1 \times 10^{13} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 乃至 $1 \times 10^{23} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ の範囲内にあり、また、第一N型窒化ガリウム系化合物半導体層の膜厚は0.01乃至2.00  $\mu\text{m}$ の範囲内であると良い。

【0014】また、本発明にかかる発光素子は、基板と、前記基板表面上に形成され第一の不純物濃度を有する第一N型窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記第一N型窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に形成され、膜厚に応じて前記第一の不純物濃度から第二の不純物濃度まで増加する第二N型窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記第二N型窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に形成され、前記第二の不純物濃度を有する第三N型窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記第三N型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成されたP型窒化ガリウム系化合物半導体層とを有することを特徴とする。

【0015】さらに本発明にかかる発光素子は、基板と、この基板上にエピタキシャル成長により形成され、前記基板側から不純物濃度が増加して形成された第一成長層と、前記第一成長層上にエピタキシャル成長により形成され、異種ヘテロ接合を有する第二成長層とを有することを特徴とする。

【0016】また、本発明にかかる発光素子は、基板上に形成されたP型窒化ガリウム系化合物半導体層を少なくとも一層有し、前記P型の窒化ガリウム系化合物半導体層は、不純物濃度が膜厚に応じて前記基板から増加する領域を有することを特徴とする。

【0017】さらに、本発明にかかる発光素子は、基板と、第一のP型不純物濃度から第二のP型不純物濃度まで増加して前記第二のP型不純物濃度まで増加して前記基板上に形成された第一のP型窒化ガリウム系化合物半導体層と、前記第二のP型不純物の不純物濃度を有し前記第一P型窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成された第二P型窒化ガリウム系化合物半導体層とを有することを特徴とする発光素子。

【0018】前記第一P型窒化ガリウム系化合物半導体層のP型不純物の不純物濃度は膜厚に応じて直線的、指数関数的、飽和曲線的、ステップ状に変化していることが好ましい。前記第一及び第二のP型不純物濃度は、 $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{23}$ の範囲内にあり、前記第一P型窒化ガリウム系化合物半導体層の膜厚は、0.01乃至2.00  $\mu\text{m}$ の範囲であると良い。

【0019】また、本発明にかかる発光素子の製造方法

によれば、反応室内にて、基板上に第一窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する工程と、前記第一窒化ガリウム系化合物半導体層表面上に前記ドーピングガスとしてシランガスを導入し、N型不純物がドーピングされた第二N型窒化ガリウム系化合物半導体層を形成する工程とを有し、前記反応室内に土にするシランガスの流入量を変化させることにより、前記第二のN型窒化ガリウム系化合物半導体層の不純物濃度を前記基板側から増加させて形成することを特徴とする。

【0020】以上の構成により、発光素子の製造にかかるスループットを向上させることができ、発光素子における格子不接合による歪量の増加を防ぐことができ、成長層の劣化を防ぐことができる。

【0021】

【発明の実施の形態】はじめに図1を参照して本発明の発光デバイスの構造について説明する。図1(a)はエピタキシャル成長によって複数の成長層を形成したヘテロ接合を有する発光ダイオードの断面図である。図1(b)は図1(a)に示した発光ダイオードにおけるN型不純物のプロファイルを示しており、その横軸はN型不純物の不純物濃度を示し、その横軸は図1(a)に対応して、基板の下面からの距離を示している。

【0022】本発明の発光ダイオードではサファイアよりなる基板11表面上に、膜厚0.01  $\mu\text{m}$ ~2.00  $\mu\text{m}$ 程度の非結晶のGa Nよりなるバッファ層12（第一Ga N層）、膜厚0.01  $\mu\text{m}$ ~0.05  $\mu\text{m}$ 程度、N型不純物の不純物濃度がバックグラウンドレベルから所望の不純物濃度、例えば $1 \times 10^{13} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度から $1 \times 10^{23} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ まで増加するN型変調ドーピング層13（便宜上、これを第二Ga N層と称する。）、膜厚0.01  $\mu\text{m}$ 以上、N型不純物の不純物濃度が所望の不純物濃度、例えば $1 \times 10^{23} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度の高濃度N型層14（第三Ga N層）、膜厚0.01  $\mu\text{m}$ ~0.03  $\mu\text{m}$ のIn Ga Nよりなる活性層15（In Ga N層）、膜厚0.1  $\mu\text{m}$ ~0.3  $\mu\text{m}$ のP型不純物のドーピングされたAl Ga N層16、膜厚0.05  $\mu\text{m}$ 以上の高濃度にP型不純物がドーピングされたGa Nよりなるコンタクト層（第四Ga N層）17よりなる積層が形成されている。

【0023】尚、上記に示した各膜の膜厚、不純物濃度は上記の数値のみに限定されることはなく、特に第三Ga N層の不純物濃度は $1 \times 10^{13} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度以上から $1 \times 10^{23} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以下の範囲であればよく、これと共に第三Ga N層の不純物濃度は、第一Ga N層の不純物濃度から第三Ga N層の不純物濃度に変化していればよい。

【0024】ここで従来の発光デバイスと異なる構成は、従来形成していたスペーサ層（第二Ga N層）の代わりに、N型変調ドーピング層13を形成し、さらにこれに連続して高濃度N型層14を形成した点にある。すなわ

ち本発明によれば、本来機能的に必要な無い層を形成すること無く、バッファ層表面上より動作に必要なN型層をその表面上より徐々にN型不純物の不純物濃度を上昇するように形成する。

【0025】N型不純物の不純物濃度は、第三Ga N層において $1 \times 10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度であり、第二Ga N層では基板側でバックグラウンドレベル、第三Ga N層側では不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 程度となるように増加している。このN型不純物の不純物濃度の変化については種々の態様が考えられる。これらの態様について図2を参照して説明する。尚、図2において横軸は主に第二Ga N層基板側からの距離（図中14で示す範囲。）、縦軸は不純物濃度を示している。

【0026】不純物濃度の変化は曲線(A)で示すように基板側で緩やかに、第三Ga N層側で大きく変化するような指数関数的な変化により形成するのが望ましい。これは第一Ga N層表面上に成長するN型変調ドープ層が、ピンホールを発生しない有限の厚さを必要とし、このピンホールを発生しない程度の膜厚まで形成されたN型変調ドープ層は、その後、徐々に不純物濃度を上昇させても、安定して結晶成長するからである。

#### 実施例2

図2の線(B)を参照して本発明の第二の実施例について説明する。線(B)で示されるようにN型変調ドープ層が、基板側から直線的に増加して第三N型Ga N層の不純物濃度まで形成している。この様な変調ドープ方法を行うことで、成長レートやドーピング効率の変動を少なくすることが可能となる。

【0027】例えば、ドーピングガスを供給する際に生じるガス供給系・ガス種の変化が、基板に到達する直前、或いは基板上の雰囲気ガスを冷却する等の微少な揺らぎを発生する。ここで、ドーピングガスを線形に変化させると、温度制御が追いつくことで成長温度が一定に保たれる。よって、温度に起因する成長レートや、ドーピング効率の変動が減少する。

#### 実施例3

図2の線(C)を参照して本発明の第三の実施例について説明する。線(C)で示されるように、N型変調ドープ層を、基板側からステップ状に増加して第三N型Ga N層の不純物濃度まで形成している。この様な変調ドープを行うと、成長表面の復元をしながら成長することになるので比較的短成長時間、或いは比較的薄層とした変調ドープ層上に高濃度にドーピングしたN層を形成することが可能となる。

【0028】また、結晶の回復を図りながら成長するために、成長表面の平坦性が良い。この効果を実現するために極端な場合には周期的にアンドープ層を挟んでもよい。

【0029】更に、このステップは程度によるが1段でもその効果は得られる。

#### 実施例4

図2の曲線(D)を参照して本発明の第四の実施例について説明する。線(D)で示されるようにN型変調ドープ層を、基板側から飽和曲線的に増加するように形成する。この様な変調ドープ層を形成すると、変調ドープ層中の低濃度領域を極小に設定できる。このため、全体の成長厚みを減らして成長時間の短縮が可能となる。よって量産を行うにあたってスループットの高い工程を形成できる。

#### 10 実施例5

図5を参照しながら本発明の第五の実施例について説明する。図3(a)は、本実施例を用いて形成した窒化ガリウム系化合物半導体を素子化したものの断面図である。図3(b)は図3(a)の素子を上部からみた図(上面図)である。図中の51、52で現した部分はそれぞれn側電極、p側電極である。これまで述べてきた実施例1~4の手法を用いて結晶成長したウェーハを用いた。これに、パターニングを施し、RIE (reactive ion etching)、RIE (reactive ion beam etching)、CDE (chemical dry etching) 等のドライエッチングを行った。エッチング後の表面53は、高濃度N型Ga N層14の中で得ている。

【0030】ここで、高濃度N型Ga N層14の厚みは横方向に電流を流すために一定の規格(キャリア濃度と移動度とで決定される)値を必要とする。

【0031】この高濃度N型Ga N層14の表面53にN型電極を形成する。次いで、コンタクト層17の表面54にp型電極52を形成する。なお、これらp表面、n表面は、p/n界面を含めて絶縁膜や誘電体薄膜等で保持されている。この後、ダイシングおよびスクライビングにより素子形状に分離を行う。

【0032】これら分離された素子はマウントされ、図5に示すように組立てが行われる。チップの電極パッドには図5(a)に示すボールボンディングあるいは図5(b)に示すウェッジボンディングが行われる。図5(a)のボールボンディングよりも図5(b)の様にウェッジボンディングを用いる方がボンディングパッドを小さくできるのでより好ましい。また、図5(c)の様にフリップチップマウントを行う方法もある。図5

(d)に図5(b)のウェッジボンディングを適用した場合の上面図を示す。図から分かるように、ボールボンディングを行う場合のパッド75より小さいパッド76となっている。これは、ボールボンディングを行う場合のパッドはボール径+αで100μm~120μmが必要であるが、ウェッジの場合にはワイヤ径の25μm~50μmで済むからである。図5(e)に、図5(c)のフリップチップマウントを適用した場合の上面図を示す。図5(e)から分かるように、ボール用パッド75と比較して、更にパッド77、78が縮小されている。これは、フリップチップマウントを行うための半田パンプの

形成には数〜数十 $\mu\text{m}$ のパッドで十分であるためである。また、電極は通常2箇所(77或いは78の片側或いは両方)あれば十分であるが、図5(e)の様に固定のため4点全てを設ける方がより良い。これらの電極を接続した後、樹脂でモールドする等で固定し完成する。

#### 実施例6

本発明の第六の実施例について、例としてこれまで述べてきた窒化ガリウム系化合物半導体を使って説明する。図2及び図4を参照しながら説明する。図4は本実施例を説明するために模式化したMO-CVD装置の断面図である。成長室51には、キャリアガス供給用の配管57、アンモニア等V族を供給する配管、TMG(トリメチルガリウム)等のIII族原子を供給する配管58、n型ドーパント59を供給する配管56、及び、バックグラウンド補償ガス60(以下補償ガスと略)を供給する配管55が接続されており、成長に寄与するガスはここから供給される。そして、反応後、及び成長に寄与しなかった残ガスは排気54を通して排ガス処理装置へと排出される。この成長室の内部には、ヒータ52上に基板53が配置され、上述の成長ガスを供給することで窒化ガリウム系化合物半導体層を成長する。

【0033】ところで、本発明の趣旨は、基板側から不純物濃度が増加して形成された成長層を有することである。よって、基板側のバックグラウンド不純物濃度を下げ、成長方向に増加させることで得られた図2の(A)〜(D)の不純物プロファイルも当然含まれる。

【0034】以下に、図4の装置を用いてこの形成方法を説明する。装置内にキャリアガス、成長ガスの他に例えば総流量の1ppm以下(例えば1ppb程度)の $\text{O}_2$ 等の補償ガス60を供給する。この補償ガスの供給量を下限から始めてバックグラウンドレベルまで減らす。または、補償ガスでバックグラウンドレベルを下げたまま、 $\text{SiH}_4$ 等のドーピングガスを例えば順次増加して供給する。これらの方法で、図2の(A)〜(D)の所望の不純物濃度プロファイルを持たせることが容易にできる。

#### 実施例7

図6を参照しながら、本発明の第七の実施例について説明する。図6(a)はエピタキシャル成長によって複数の成長層を形成した異種ヘテロ接合を有する発光素子の断面図である。図6(b)は、図6(a)に対応した発光素子のp型不純物のプロファイルを示している。図中、横軸はp型不純物の不純物濃度を示し、縦軸は図6(a)に対応して基板からの距離を示している。

【0035】なお異種ヘテロ接合としては $\text{GaAs}/\text{Si} \cdot \text{Inp}/\text{GaAs} \cdot \text{GaN}/\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{GaN}/\text{Si} \cdot \text{GaN}/\text{SiC}$ のような種々のヘテロ接合を含む。

【0036】本実施例の発光素子では、サファイアよりなる基板81表面上に膜厚0.01〜2.00 $\mu\text{m}$ 程度

の非晶質Ga<sub>0.99</sub>Nよりなるバッファ層82と、膜厚0.01〜0.5 $\mu\text{m}$ 程度で、Be、Mg、Ca等のp型不純物濃度がバックグラウンドレベルから所望の不純物濃度、例えば $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 程度から $1 \times 10^{23} \text{cm}^{-3}$ 程度まで増加するp型変調ドーブ層84と、膜厚0.01 $\mu\text{m}$ 以上でp型不純物の不純物濃度が所望の不純物濃度、例えば $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度から $1 \times 10^{23} \text{cm}^{-3}$ 程度の高濃度p型層85と、膜厚0.01〜0.03 $\mu\text{m}$ 程度で、InGa<sub>0.99</sub>Nよりなる活性層86と、膜厚0.01〜2.0 $\mu\text{m}$ 程度で、n型不純物濃度がドーブされたAlGa<sub>0.99</sub>N層87よりなる。

【0037】なお、上記の膜厚、不純物濃度は実施例1で述べたのと同じ理由で上記数値のみに限定されるものではない。

【0038】尚、各層の構成については上記の種類に限定されることはなく、各種の窒化ガリウム系化合物半導体を用いて形成することが可能である。例えば基板11はサファイアその他、SiC、GaAs、Si、また第一Ga<sub>0.99-x</sub>Al<sub>0.01+y</sub>Ga<sub>1-(x+y)</sub>N、また第二、第三Ga<sub>0.99-x</sub>Al<sub>0.01+y</sub>Ga<sub>1-(x+y)</sub>N、またInGa<sub>0.99-x</sub>Al<sub>0.01+y</sub>Ga<sub>1-(x+y)</sub>N、また第四Ga<sub>0.99-x</sub>Al<sub>0.01+y</sub>Ga<sub>1-(x+y)</sub>N(上記の各x、yは、0または1である。)によりそれぞれ形成することができる。

【0039】続いて図1における本発明の発光ダイオードの製造方法について説明する。

【0040】はじめにサファイア基板11を反応室に設置し、摂氏500度〜600程度に加熱する。次にこの反応室内にキャリアガスとして水素、窒素あるいはこれらの混合ガス、原料ガスとしてアンモニア(NH<sub>3</sub>)及びTMGa(トリメチルガリウム)を導入することにより非結晶の第一Ga<sub>0.99</sub>N層12を形成する。次に反応室内の温度を1000度〜1100度程度に上昇させ、上記同様のガスを導入しさらに、これと共にN型不純物のドーピングのためSiH<sub>4</sub>(シランガス)を導入する。

【0041】ここで成長させようとする膜はN型不純物の不純物濃度が徐々に増加するように形成するが、この制御はシランガスの流量を制御することにより容易に制御することができる。すなわちここでGa<sub>0.99</sub>N層の成長と共に、シランガスの流量を指数関数的に増加させれば、それに対応して形成されるN型変調ドーブ層の不純物濃度も指数関数的に増加させることができる。また不純物濃度を直線的に増加させて形成する場合には、シランガスの流量も直線的に、不純物濃度を飽和曲線的に増加させて形成する場合には、シランガスの流量も飽和曲線的に、また不純物濃度をステップ状に増加させて形成する場合には、シランガスの流量もステップ状に増加させればよい。

【0042】尚、本発明での一例としてはシランガスの濃度を1ppm程度、流量を0〜200sccm程度ま



で変化させて形成することにより、第二Ga<sub>0.5</sub>N層の不純物濃度を所望の値に変化させて形成することができる。

【0043】次に反応室内の温度を保ったまま、或いは若干低下させTMI（トリメチルインジウム）を導入することによりInGa<sub>0.5</sub>N層を形成する。さらにTMAI（トリメチルアルミニウム）とCp<sub>2</sub>Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）を導入することによりP型不純物が導入されたAlGa<sub>0.5</sub>N層を形成する。さらにTMGa（トリメチルガリウム）、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mgを導入することによりGa<sub>0.5</sub>Nコンタクト層をそれぞれ形成する。以上の工程により本発明の発光ダイオードの製造工程の一例が終了する。

【0044】尚、上記の実施の形態においては主に発光ダイオードの構成及びその製造方法について示しているが、本発明の趣旨を逸脱しない範囲であれば、半導体レーザ等の発光デバイスについても本発明を適用できる。

【0045】本発明によれば、従来の発光デバイスにおいて形成していたスペーサ層としてアンドープの単結晶Ga<sub>0.5</sub>N層を形成することなく、バッファ層表面上にN型変調ドープ層と高濃度N型層とを連続的にシランガスの流量を変化させることのみにより、異常成長無く結晶性を安定して形成することができる。すなわち機能的には必要の無いスペーサ層を形成することなく、バッファ層表面上に直接動作に寄与するN型層を形成することができるため、スペーサ層を形成するために生じていたスループットの低下を防ぐことができる。また、スペーサ層を形成することがないため、発光素子全体の膜厚も多少減少するため、格子不整合による歪量の増加を防ぐことができ、成長層の劣化を防ぐことができる。

【0046】

【発明の効果】本発明にかかる発光素子によれば、基板上に形成されたN型の窒化ガリウム系化合物半導体層と、N型の窒化ガリウム系化合物半導体層上に形成されたP型の窒化ガリウム系化合物半導体層とを有し、N型の窒化ガリウム系化合物半導体層は、不純物濃度が膜厚に応じて前記基板側から増加する領域を有しているの

で、異常成長無く結晶性を安定して形成することができるため、発光素子の製造にかかるスループットを向上させることができる。

【0047】また、本発明にかかる発光素子の製造方法によれば、従来の発光デバイスにおいて形成していたス

ペーサ層としてアンドープの単結晶Ga<sub>0.5</sub>N層を形成することなく、バッファ層表面上にN型変調ドープ層と高濃度N型層とを連続的にシランガスの流量を変化させることのみにより、異常成長無く結晶性を安定して形成することができるため、発光素子の製造にかかるスループットを向上させることができる。さらに発光素子全体の膜厚も多少減少させることができるため、格子不整合による歪量の増加を防ぐことができ、成長層の劣化を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】（a）は本発明の第1の実施の形態を説明する発光ダイオードの断面図及び（b）はN型不純物の不純物プロファイルを示すグラフ。

【図2】本発明のN型変調ドープ層の不純物プロファイル。

【図3】（a）は窒化ガリウム系化合物半導体の断面図、（b）はその上面図。

【図4】MO-CVD装置を示す構成図。

【図5】本発明の発光ダイオードの組立を説明する図であって、（a）および（b）は電極にワイヤが接合される様子を示す説明図、（c）はウェッジボンディング従来の問題点を示す説明図、（d）は（b）のウェッジボンディングが行われた様子を示す上面図、（e）は（c）のボンディングが行われた様子を示す上面図。

【図6】（a）は異種ヘテロ接合を含む発光素子の断面図、（b）はそのP型不純物のプロファイルを示すグラフ。

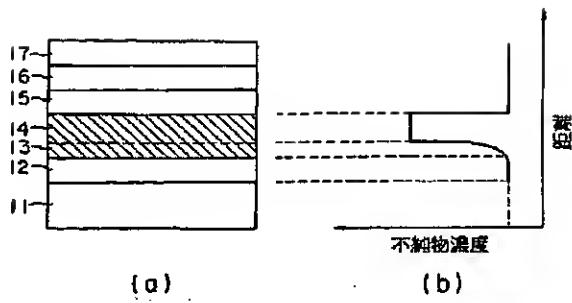
【図7】（a）は従来の発光ダイオードを示す断面図、（b）はそのN型不純物のプロファイルを示すグラフ。

【図8】従来技術に固有の問題を示す模式図。

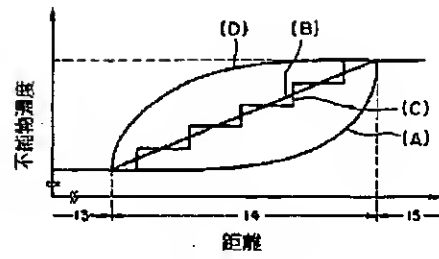
【符号の説明】

- 11, 111 基板
- 12, 112 バッファ層（第一Ga<sub>0.5</sub>N層）
- 13 N型変調ドープ層（第二Ga<sub>0.5</sub>N層）
- 14, 114 高濃度N型層（第三Ga<sub>0.5</sub>N層）
- 15, 115 活性層（InGa<sub>0.5</sub>N層）
- 16, 116 AlGa<sub>0.5</sub>N層
- 17, 117 コンタクト層（第四Ga<sub>0.5</sub>N層）
- 113 スペーサ層113（第二Ga<sub>0.5</sub>N層）
- 211 ピンホール
- 212 Ga<sub>0.5</sub>N層の異常成長

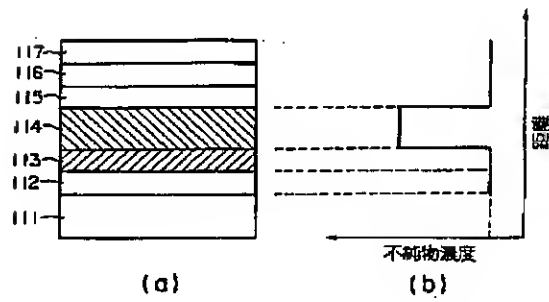
【図1】



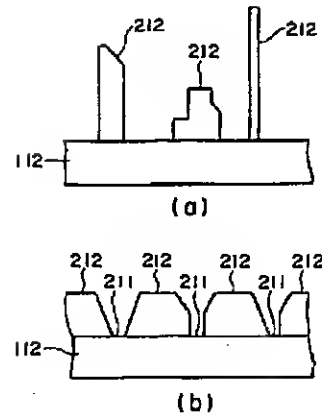
【図2】



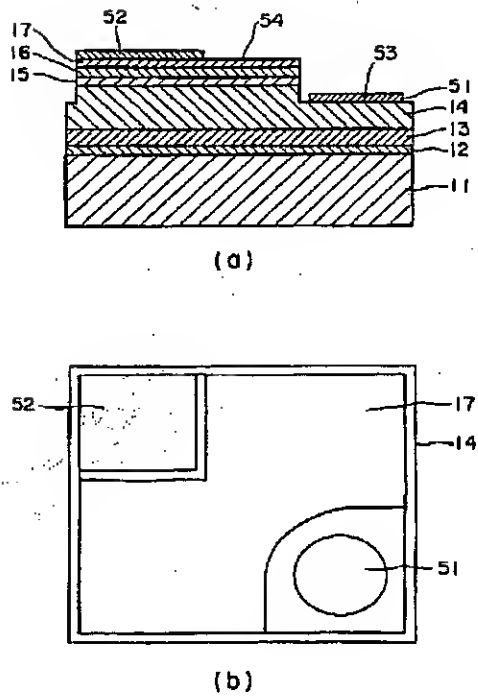
【図3】



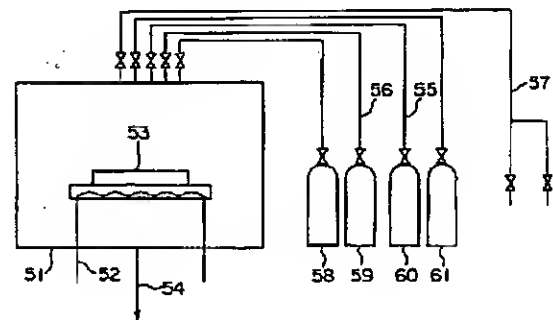
【図4】



【図5】

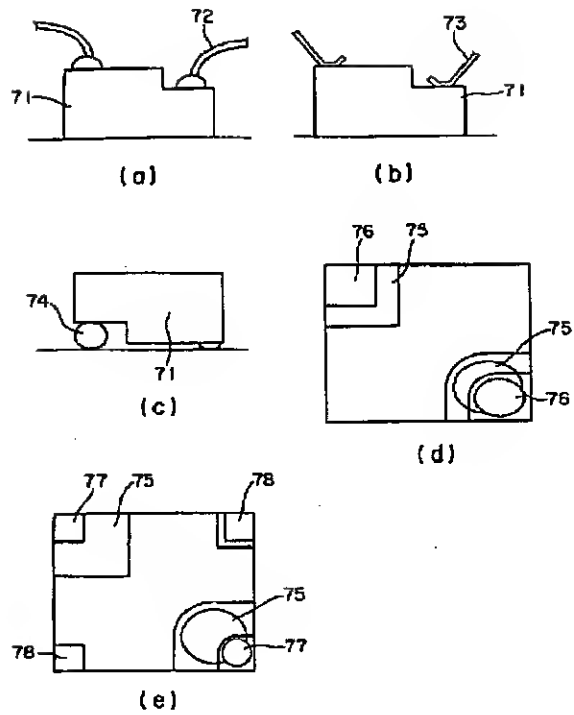


【図6】

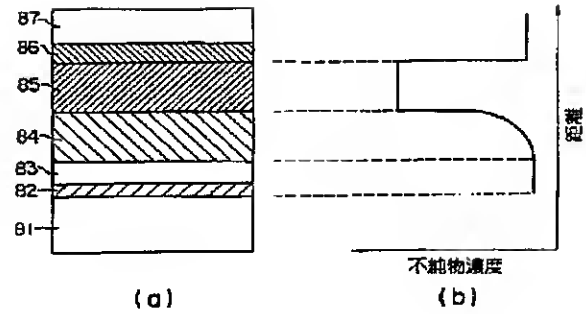




【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 菅原 秀人  
 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会  
 社東芝川崎事業所内

(72)発明者 磯本 建次  
 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会  
 社東芝川崎事業所内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**